

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
22. Februar 2001 (22.02.2001)

PCT

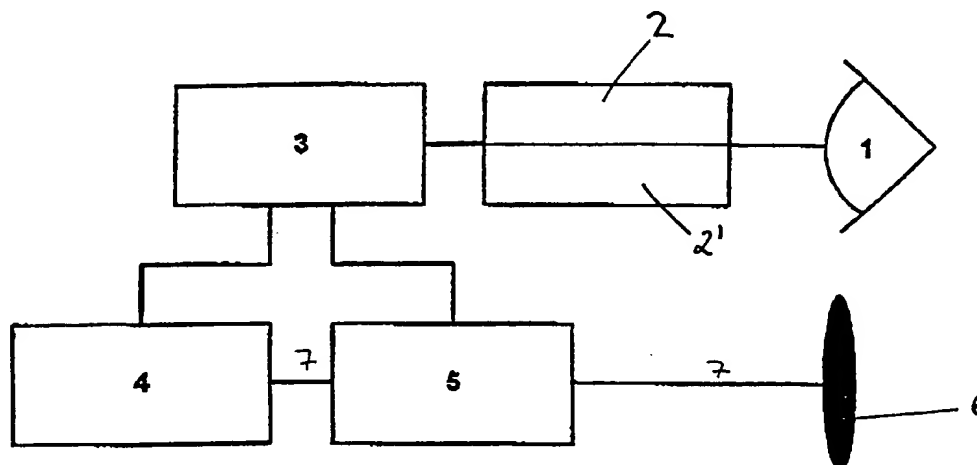
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/12113 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: A61F 9/01 (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ASCLEPION-MEDITEC AG [DE/DE]; Prüssingstrasse 41, 07745 Jena (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/07821
- (22) Internationales Anmeldedatum: 11. August 2000 (11.08.2000) (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DICK, Manfred [DE/DE]; Birkenweg 9, 07926 Gefell (DE). SCHRÖDER, Eckhard [DE/DE]; Hans-Sachs-Strasse 9, 90542 Eckental (DE). FIEDLER, Joachim [DE/DE]; Mittlerer Weg 84, 74564 Crailsheim (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 199 38 203.4 11. August 1999 (11.08.1999) DE (74) Anwalt: SCHNEKENBÜHL, Robert; DTS München, St.-Anna-Strasse 15, 80538 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PERFORMING ONLINE ABERROMETRIE IN REFRACTIVE EYE CORRECTION INDICES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ONLINE ABERROMETRIE BEI DER REFRAKTIVEN KORREKTUR VON AUGEN



WO 01/12113 A1

(57) Abstract: This invention relates to a method and a device for the complete correction of sight defects in the human eye. Combinations of measuring- and processing methods are described which when applied as disclosed in the invention, make it possible to fully correct sight defects in the human eye. Measuring methods are used which can precisely scan the surface of the cornea and also register other imaging defects in the light path up to the retina. Computer-aided of said measuring results determined when combined with calculation of ideally corrected ocular lenses (for example after cataract operations) or ideally corrected surfaces of the cornea opens up the possibility of manufacturing a patient-specific lens and/or achieving ideal correction of the cornea using preferably a topography-supported spot-scanning-excimer laser system.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur vollständigen Korrektur von Sehfehlern des menschlichen Auges. Es wurden Kombinationen von Mess- und Bearbeitungsverfahren angegeben, welche in ihrer erfindungsgemässen Anwendung die vollständige Korrektur des menschlichen Auges

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

BEST AVAILABLE COPY



(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— Mit internationalem Recherchenbericht.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

ermöglichen. Dabei werden Messverfahren eingesetzt, welche die Oberfläche der Cornea präzise erfassen können und auch die im weiteren Strahlengang bis zur Netzhaut entstehenden Abbildungsfehler registrieren. Die rechnergestützte Auswertung dieser Messergebnisse ergibt in Verbindung mit der Berechnung ideal korrigierter Augenlinsen (beispielsweise nach Katarakt-Operationen) oder ideal korrigierender Corneaoberflächen die Möglichkeit, bevorzugt mit einem Spot-Scanning-Excimerlasersystem topographiegestützt eine patientenspezifische Linse herzustellen und/oder die Hornhaut ideal korrigierend zu formen.

Verfahren und Vorrichtung zur online Aberro metrie bei der refraktiven Korrektur von Augen

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Korrektur von Sehfehlern des menschlichen Auges.

10 In der Ophthalmologie ist es bekannt, die Hornhaut bei Sehschwäche durch Ablation von Gewebe zu formen. Die Daten über die Aberration im Strahlengang des Auges werden dabei über eine Befragung des Patienten aufgrund von Korrekturen über standardisierte Korrekturlinsen vor dem Auge des Patienten nach seinem subjektiven Eindruck des Sehvermögens gewonnen.

15 Daneben existieren Verfahren zur Vermessung der äußeren Kontur des Auges mittels Streifen- oder Ringprojektionssystemen, wie sie beispielsweise von den Firmen Orbtek, Tomey oder Technomed hergestellt werden.

20 In der DE 197 05 119 A1 wird ein Verfahren zur Verbesserung eines Shack-Hartmann-Sensors beschrieben, mit dem Wellenfronten im Bereich der Astronomie zur Vermessung von Sternen gemessen werden können.

25 In der DE 197 27 573 C1 wird in einem wertvollen Beitrag zum Stand der Technik eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Formgebung von Oberflächen, insbesondere von Linsen, vermittelt einer Laserabtragung der Oberflächen angegeben.

30 Nachteilig am Stand der Technik wird die Tatsache empfunden, daß die Korrektur der Linsen nur aufgrund suboptimaler Daten über die Ursachen der Sehfehler wie Irregularitäten der Hornhautoberfläche oder Aberration im Strahlengang stattfindet. Es werden folglich nur Korrekturen entsprechend den

35 Standardlinsenformeln der geometrischen Optik ausgeführt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es daher, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, die eine vollständige Korrektur aller refraktiven Sehfehler einschließlich der Aberrationen des Strahlenganges im fehlsichtigen Auge erlauben.
5

Diese Aufgabe wird durch die Vorrichtung und das Verfahren nach den unabhängigen Ansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.
10

Insbesondere wird die Aufgabe durch eine Vorrichtung zur Korrektur von Sehfehlern eines Auges gelöst, umfassend eine kohärente Lichtquelle, eine Strahlmodifikationseinrichtung zur Formung und Ablenkung eines Strahles der kohärenten Lichtquelle, wobei eine Wellenfrontanalyseeinrichtung zur Analyse einer Wellenfront des Strahlenganges im Auge vorgesehen ist. Durch diese Vorrichtung ist es möglich, die aus der Analyse der intraokularen Aberration gewonnenen Daten in die Korrektur eines bestehenden optischen Systems eines zu korrigierenden Auges einfließen zu lassen. Damit wird die Korrektur des optischen Systems des Auges nochmals präziser möglich.
15
20

Als Auge kommt insbesondere ein menschliches Auge in Betracht, denkbar ist aber auch die Korrektur von Augen anderer Lebewesen. Sehfehler sind insbesondere refraktive Sehfehler wie die Kurz- oder Weitsichtigkeit, Irregularitäten der Hornhautoberfläche oder Aberrationen im Strahlengang
25
30

Als kohärente Lichtquelle ist bevorzugt ein Laser, besonders bevorzugt ein refraktiver Laser, insbesondere bevorzugt ein Spot-Scanning-Excimerlasersystem, vorgesehen. Daneben kann auch an ein Spot Scanner mit Laserlicht in anderen Bereichen des Spektrums gedacht werden wie ein frequenzverfünffacher YAG-Laser, ein IR-Laser bei 3µm, wie bspw. einen Erbium:YAG-
35

Laser, der bei 2,94 μm emittiert, oder ein femto-Sekundenlaser (FS-Laser).

Die Strahlenmodifikationseinrichtung besteht bevorzugt aus
5 einer Einrichtung zur Formung eines Strahles und einer
Einrichtung zur Ablenkung und Ausrichtung des Strahles. Als
Einrichtung zur Formung des Strahles werden bevorzugt
Linsensysteme, diffraktive Strukturen und refraktive Elemente
eingesetzt. Als Einrichtung zur Ablenkung und Ausrichtung des
10 Strahles werden bevorzugt Scanneranordnungen, Prismen und
Spiegel verwendet.

Als Wellenfrontanalyseeinrichtung kann bevorzugt ein Shack-
Hartmann-Sensor verwendet werden. Hierbei handelt es sich um
15 einen Sensor, der auf einem Verfahren beruht, um Wellenfron-
ten zu analysieren. Er wird insbesondere in der Astronomie
eingesetzt (s.o.). Durch diese Wellenfrontanalyseeinrichtung
kann die gesamte aus dem Auge austretende Wellenfront gemes-
sen werden und so Informationen über die Sehfehler ein-
20 schließlich der intraokularen Aberration des Strahlenganges
auch im Auge gewonnen werden.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden
Erfindung ist eine Vorrichtung vorgesehen, bei der zusätzlich
25 eine Topographieanalyseeinheit zur Analyse der Oberfläche des
Auges vorgesehen ist. Diese Analyse liefert die Information,
welche Krümmung und Kontur die Augenoberfläche - also insbe-
sondere die Cornea - aufweist. Dadurch stehen dem System die
vollständigen Daten über die refraktiven Sehfehler des Auges
30 zur Verfügung. Sowohl die gegebenenfalls nicht ideale Ober-
flächenkontur des Auges - bzw. der Cornea - als auch die
intraokulare Aberration kann nun analysiert werden und stehen
dem System bei der Korrektur des optischen Systemes des Auges
zur Verfügung. Dadurch ist es möglich, die Sehfehler des
35 Auges vollständig zu korrigieren und sogar ein Sehvermögen zu
erreichen, das über dem des normalen menschlichen Auges
liegt.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist eine Vorrichtung vorgesehen, bei der weiterhin eine Steuereinheit zur Verarbeitung von Signalen der Wellenfrontanalyseneinheit und/ oder zur Verarbeitung von Signalen der Topographieanalyseeinheit, und/ oder zur Steuerung der kohärenten Lichtquelle und/ oder zur Steuerung der Strahlmodifikationseinrichtung vorgesehen ist. Durch diese Steuereinheiten können die durch die Analyseeinheiten ermittelten Daten ausgewertet werden. Es ist möglich, die Signale der Wellenfrontanalyseneinheit und der Signale der Topographieanalyseeinheit in der Steuereinheit getrennt zu verarbeiten und auszuwerten oder beide Datenmengen in einem Schritt zu verarbeiten. Die Steuereinheit besteht bevorzugt aus mehreren einzelnen Steuereinheiten.

Diese Daten dienen bevorzugt der Bereitstellung eines idealen optischen Systemes. Aus diesen Daten werden die für die Strahlmodifikation erforderlichen Parameter bestimmt. Diese Parameter können bevorzugt in einem weiteren Schritt zur Steuerung der kohärenten Lichtquelle benutzt werden, um beispielsweise Amplitude, Pulsdauer und Energie des Strahles vorzubestimmen. Weiterhin bevorzugt werden diese Parameter auch zur Steuerung der Strahlmodifikationseinrichtung eingesetzt, um hier über die Ablenkung des Strahles den Zielort und die Geometrie des Strahles im Ziel festzulegen.

Dadurch können bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel insbesondere die Schußpositionen für die Herstellung der einzelnen Elemente berechnet werden.

Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist eine Vorrichtung vorgesehen, bei der die Strahlmodifikationseinrichtung so ausgebildet ist, daß mit dem Strahl eine Intraokularlinse und/ oder eine Augenlinse und/ oder die Cornea des Auges und/ oder eine Kontaktlinse und/oder eine implantable Contact lens (ICL) und/ oder ein Brillenglas bearbeitbar ist. Durch den bevorzugt von der

Steuereinheit gesteuerten Strahl kann nun ein Element bzw. Werkstück des Linsensystems derart bearbeitet werden, daß die Sehfehler bzw. Aberration vollständig korrigiert wird. Ein solches Element ist bevorzugt eine Intraokularlinse (IOL),
5 die vor einer entsprechenden Operation vorgefertigt wird. Besonders bevorzugt handelt es sich um eine ICL (implantable contact lens), die auf die Linse aufgesetzt wird. Diese IOL bzw. ICL kann dann aufgrund der gesamten vorliegenden Information über die Sehfehler einschl. der Aberration des Auges
10 so geformt werden, daß sie alle vorhandenen Sehfehler korrigiert. Denkbar ist auch, die Korrektur mittels des bevorzugt durch die Steuereinrichtung gesteuerten Strahles an der Augenlinse selbst vorzunehmen.

15 Weiterhin ist es denkbar, eine Korrektur durch die Bearbeitung der Cornea vorzunehmen. Bevorzugt werden auch Kontaktlinsen gefertigt, die patientenspezifisch sämtliche individuellen über dem refraktiven Augenfehler hinausgehende Fehler wie Aberrationen, unsymmetrische Zylinder und Hornhaut-
20 Irregularitäten korrigieren. Daneben ist es möglich, individuelle Brillengläser herzustellen. Hierfür können neben der Excimer-Spot-Bearbeitung auch Methoden der Optikindustrie wie beispielsweise das single point diamond turning Verfahren eingesetzt werden. Hierdurch können sämtliche Elemente des
25 betroffenen optischen Systemes zur Korrektur der Augenfehler verwendet werden.

Es ist ebenfalls möglich, eine Kombination der einzelnen (teil-) korrigierten Elemente einzusetzen. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die theoretisch mögliche Korrektur über ein Element zu einer hohen Beanspruchung dieses Elements führen würde und eine solche Beanspruchung insbesondere aus medizinischer Sicht nicht angezeigt erscheint.

35 Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die Steuereinheit so ausgebildet, daß die Analyse des Strahlenganges im Auge und/oder die

Analyse der Oberfläche des Auges quasi zeitgleich mit der Bearbeitung eines optischen Elements durch den Strahl der kohärenten Lichtquelle erfolgen kann. Durch diese Modifikation der Steuereinheit ist es möglich, während der Bearbeitung des optischen Elements, d.h. beispielsweise während der Bearbeitung der Cornea mit dem Chirurgielaserstrahl, eine "online"-Überprüfung des Strahlenganges im Auge, wie es derzeit durch die Operation modifiziert ist, und/oder der Oberfläche dieses Auges im aktuellen Zeitpunkt durchzuführen und in die weitere Operation bzw. Bearbeitung einfließen zu lassen. Damit ist es möglich, daß man während einer Laserbehandlung der Cornea zur Korrektur refraktiver Sehfehler des Auges ständig den aktuellen refraktiven Wert des gesamten Sehapparates des Auges mißt und bei gegebenen störenden Einflüssen auf die Behandlung online den Behandlungsablauf auf den Zielwert der Refraktion des Auges exakt einstellen kann. Durch diese Kombination der optischen Systeme eines Chirurgielasers zum Abtrag von Cornea-Gewebe bzw. Linsenmaterial und eines Aberrometers zur Wellenfrontanalyse bzw. der Oberfläche des Auges wird diese optimierte Behandlung möglich. Besonders vorteilhaft ist hierbei die vollständige Erfassung der refraktiven Werte (sphärozyklindrische Aberrationen sowie Aberrationen höherer Ordnung) des gesamten optischen Apparates des Auges, welche in letzter Instanz repräsentativ sind für die Qualität des erzielten operativen Eingriffs. Durch die vollständige Erfassung online und ohne Unterbrechung des Behandlungsablaufes, wird hierdurch eine hinsichtlich des zeitlichen Ablaufs und der erzielbaren Präzision optimierte Vorrichtung bereitgestellt.

Besonders bevorzugt ist es auch möglich, die Analyse des Strahlengangs bzw. der Oberfläche des Auges im Wechsel mit der Bearbeitung des optischen Elements durchzuführen und so abschnittsweise den Fortgang der Behandlung bzw. der Operation des optischen Systems, insbesondere der Cornea, zu erfassen. Es ist auch denkbar, die Abtastung und Analyse des Strahlengangs bzw. der Oberfläche des Auges zeitlich in die

Bearbeitung durch den Chirurgielaserstrahl zu verzahnen. Dadurch ist eine kontinuierliche bzw. quasi-kontinuierliche Messung bei echter Geräteintegration (z.B. jede Sekunde) und fortlaufende Neuberechnung der Lasersteuerung möglich.

5

Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Korrektur von Sehfehlern eines Auges, wobei der Strahlengang des Auges mittels einer Wellenfrontanalyse ermittelt wird und ein ideales Linsensystem berechnet wird, das zu einer Korrektur der Sehfehler des Auges führen würde. Besonders bevorzugt wird dieses Verfahren unter Einsatz einer erfindungsgemäßen Vorrichtung angewandt. Bei diesem Verfahren steht für die Berechnung der Korrektur des optischen Systemes zur Überführung in ein ideales optisches System die intraokulare Aberration des Strahlenganges zur Verfügung.

Besonders bevorzugt wird bei einem weiteren erfindungsgemäßen Verfahren zusätzlich die Topographie des Auges analysiert. Damit stehen in diesem Verfahren noch weitere Informationen über die Fehlsichtigkeit des Auges zur Verfügung, insbesondere über Aberrationen, unsymmetrische Zylinder und Hornhaut- Irregularitäten.

Bei einem weiteren bevorzugten Verfahren wird das ideale optischen System auf der Basis der aus der Wellenfrontanalyse und/ oder der aus der Topographieanalyse ermittelten Daten bereitgestellt. Besonders bevorzugt wird dafür nur ein Element aus diesem optischen System bereitgestellt. Auf diese Weise wird in einem weiteren Schritt das korrigierende Element oder die korrigierenden Elemente auf der Basis der kompletten Daten der Fehlsichtigkeit hergestellt. Dieses Vorgehen führt so zur vollständigen Korrektur der Fehlsichtigkeit.

Bei einem weiteren bevorzugten Verfahren werden Schußpositionen zur Herstellung des idealen optischen Systems mittels der aus der Wellenfrontanalyse und/ oder aus der Topographieana-

lyse ermittelten Daten berechnet. Auf diese Weise kann vorteilhaft das Laser-Spot-Excimer-Verfahren zur Herstellung der einzelnen Elemente des optischen Systems genutzt werden. Die Schußpositionen werden je nach einzusetzenden Materialien und
5 unter Berücksichtigung des Fertigungszeitaufwandes optimiert.

Bei einem weiteren Verfahren der vorliegenden Erfindung wird das alte optischen System des Auges zu dem berechneten idealen optischen System umgeformt. Hierzu werden entweder Elemente des alten optischen Systems direkt bearbeitet oder
10 entsprechend korrigierte Elemente hergestellt und eingesetzt bzw. alte Elemente gegen neue Elemente ausgetauscht. Durch dieses Verfahren ist die Überführung des alten (fehlsichtigen) optischen Systems des Auges in ein (neues) ideales
15 optischen System möglich. Besonders bevorzugt wird eine neue Linse bzw. eine ICL nach dem Spot-Scanning-Prinzip mit einem Excimerlaser hergestellt.

Besonders bevorzugt wird beim erfindungsgemäßen Verfahren eine Kontaktlinse bearbeitet, die bereits auf dem Auge des Patienten angeordnet ist. Der Patient trägt während der Messung bevorzugt bereits eine die Standard-Fehlsichtigkeiten korrigierende Kontaktlinse bzw. bei Normalsichtigkeit nur eine therapeutische Kontaktlinse, die besonders bevorzugt
20 eine gute Haftung besitzt und konstante Abbildungseigenschaften ohne Dezentrierung aufweist. Nun wird die Ablation auf der standardisierten Kontaktlinse vorgenommen und damit nicht invasiv eine risikolose Korrektur der höheren Aberration des Auges erzielt. Dadurch wird für den Patienten risikolos mit
25 hoher Behandlungssicherheit insbesondere höhere Aberrationen korrigierbar, um den optischen Apparat des Auges zu befähigen, das Auflösungsvermögen der Retina auszunutzen und ein Supervisus zur Verfügung zu haben, der dem des normalsichtigen Auges überlegen ist. Patienten können nun ohne Rücksicht
30 auf die Eigenschaften ihrer eigenen Augen mit Hinblick auf Transmissionswerte bzw. Austrocknung des Tränenfilms einen bevorzugten Supervisus erwerben und Erfahrungen im alltägli-

chen Leben damit sammeln. Durch die Entfernung der Kontaktlinse ist die alte Seheigenschaft wieder hergestellt.

5 Bevorzugt wird hierfür auch eine therapeutische Kontaktlinse ohne refraktive Wirkung eingesetzt. Hierbei werden sämtliche Abbildungsfehler auf dieser Kontaktlinse mit dem Laser korrigiert.

10 Besonders bevorzugt werden Kontaktlinsen aus PMMA oder Kunststofflinsen genutzt, welche besonders bevorzugt einen geringeren Materialabtrag für den eingesetzten Laser, beispielsweise einen 193 nm ArF-Excimerlaser gegenüber der menschlichen Cornea aufweisen. Insbesondere bevorzugt sind auch alle weichen Kontaktlinsen, die aufgrund ihres hohen Wassergehalts
15 nahezu die gleichen Ablationseigenschaften wie die Cornea zeigen. So können vorteilhaft vor der Behandlung für jegliches herstellungsseitig standardisiertes Kontaktlinsenmaterial die exakten Ablationsraten bestimmt werden und damit reproduzierbar eine gewünschte refraktive Korrektur auf dem
20 Auge vorgenommen werden.

Die so simulierte Korrekturmöglichkeit kann für eine spätere echte Hornhautoperation vorbereitend dienen oder aber für eine vorbestimmte Zeit eine derartige Linse mit maßgeschneiderter Korrektur genutzt werden. Insbesondere bei harten
25 Kontaktlinsen kann auch eine längerfristige Benutzung erfolgen. Hierbei wird vorteilhafterweise eine entsprechende Markierung für die Achslage aufgebracht, die beim Einsetzen berücksichtigt wird.

30

Bevorzugt umfaßt das optischen System als Elemente die Augenlinse und/ oder eine Intraokularlinse und/ oder die Cornea des Auges und/ oder eine Kontaktlinse und/ oder eine ICL und/oder mindestens ein Brillenglas. Mittels refraktiver
35 Chirurgie kann beispielsweise die Cornea des Auges umgeformt werden, um die bestehende Fehlsichtigkeit zu korrigieren (z.Bsp. die Oberfläche der Cornea über die Photorefraktive

Keratektomie, PRK, oder durch Ablation innerer Gewebeschichten der Cornea durch die Laser assisted in situ Keratomileusis, LASIK). Diese Elemente weisen nicht nur rotationsgeometrische Korrekturen auf, sondern individuelle Strukturen zur
5 Korrektur der Fehlsichtigkeit der Patienten. So ist es möglich, Intraokularlinsen oder Kontaktlinsen, insbesondere ICL'S, herzustellen, die - einmal in das Linsensystem eingebracht - nicht nur wie bisher die Fehlsichtigkeit des Auges grob korrigieren, sondern darüber hinaus alle Irregularitäten,
10 Unsymmetrien und Strahlverzerrungen mitkorrigieren. Damit kaum ein visus erreicht werden, der über dem des normalen menschlichen Auge liegt. Außerdem ist es mit diesem Verfahren möglich, Brillengläser herzustellen, die ebenfalls alle Irregularitäten, Unsymmetrien und Strahlverzerrungen des
15 fehlsichtigen Auges bzw. des alten optischen Systemes mitkorrigieren.

Weiterhin wird die Aufgabe gelöst durch ein ideales optischen System, das nach einem erfindungsgemäßen Verfahren und/ oder
20 mittels einer erfindungsgemäßen Vorrichtungen hergestellt wurde, wobei das optischen System Elemente aus implantationsgerechten und/ oder adhäsionsgerechten und/ oder ablationsgeeigneten Werkstoffen, insbesondere Kunststoff oder Glas, umfaßt. Durch die Wahl dieser Werkstoffe des erfindungsgemäßen
25 Linsensystems ist die Verträglichkeit beim Einsatz dieser Elemente gewährleistet. Solche Werkstoffe sind beispielsweise PMMA, Acryl, Silikon oder eine Kombination dieser Werkstoffe.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden
30 Erfindung ist ein ideales optischen System vorgesehen, das Elemente umfaßt, die refraktive und/oder diffraktive Strukturen umfassen. Refraktive und/oder diffraktive Strukturen werden bisher nur in der Strahlformung verwendet. Ein Minilinsensystem lenkt und formt den eintretenden Strahl, um eine
35 spezielle Strahlverteilung in der Zielebene zu erreichen. Der Einsatz derartiger refraktiver und/oder diffraktiver Strukturen auf einzelnen Elementen eines optischen Systems erlaubt

die gezielte Korrektur von Sehschwächen in ungewöhnlich idealer Weise. So ist es durch den Einsatz dieser Strukturen möglich, einzelne nicht stetige Aberrationen zu korrigieren oder aber auch den optischen Systemen Eigenschaften zu verleihen, die ein normales menschliches Auge nicht aufweist.

Die Aufgabe der Erfindung wird weiterhin durch ein Element eines (idealen) Linsensystemes gelöst, das refraktive und/oder diffraktive Strukturen aufweist. Solche Elemente können Intraokularlinsen, modifizierte Cornea, Kontaktlinsen, ICL's oder Brillengläser sein.

Ausführungsbeispiele der Erfindung und vorteilhafte Ausgestaltungen sollen im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert werden. Dabei zeigen:

- Fig. 1 ein Blockschaltbild für ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Korrektur einer Aberration im Strahlengang eines Auges auf einer Linse 6;
- Fig. 2 ein Blockschaltbild für ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Korrektur einer Aberration im Strahlengang eines Auges, auf dem eine Linse 6 aufgebracht ist und
- Fig. 3 ein Blockschaltbild für ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Korrektur einer Aberration im Strahlengang eines Auges ohne Kontaktlinse.

In **Figur 1** ist ein Blockschaltbild für ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Korrektur von Sehfehlern eines Auges auf einer Linse dargestellt. Eine Wellenfrontanalyseeinheit 2 und eine Topographieanalyseeinheit 2' sind mit einer Steuereinheit 3 verbunden. Die Steuereinheit 3 ist über einen Bus mit einem Laser 4 und einer Strahlmodifikationseinrichtung 5 verbunden. Hinter der Strahlmodifikationseinrichtung 5 ist eine Linse 6 dargestellt. Vor der Wellenfrontanalyseeinheit 2 und der Topographieanalyseeinheit 2' ist ein Auge 1 dargestellt.

Im Betriebszustand tasten die Strahlen der Wellenfrontanalyseeinheit 2 und der Topographieanalyseeinheit 2' das Auge 1 ab und übermitteln die gewonnenen Signale an die Steuereinheit 3. Als Strahlen werden hier bevorzugt Strahlen einer kohärenten Lichtquelle eingesetzt, besonders bevorzugt Strahlen einer IR-Diode oder eines grünen Lasers. In der Steuereinheit 3 werden die Signale verarbeitet und das ideale optische System für dieses Auge 1 berechnet. Im dargestellten Fall wird hier als Element des optischen Systems eine ideale Linse 6 berechnet. Insbesondere werden in der Steuereinheit 3 ausgehend von den aus den Signalen gewonnenen Daten unter Berücksichtigung der laserrelevanten Daten sämtliche Schußpositionen berechnet, die für den Laser 4 zur Herstellung der idealen Linse 6 benötigt werden. Die Steuereinheit 3 steuert daraufhin den Laser 4 an und bestimmt Energie und Pulsrate des chirurgischen Strahles 7. Der Strahl 7 wird durch die Strahlmodifikationseinrichtung 5 geleitet. In der Strahlmodifikationseinrichtung 5 wird der Strahl 7 gemäß den berechneten Schußpositionen durch die Vorgaben der Steuereinheit 3 über Scanner und Linsensysteme geformt und abgelenkt, so daß durch Ablation von Material auf der Rohlinse durch den gesteuerten chirurgischen Laserstrahl 7 die kundenspezifische Linse 6 hergestellt wird. Die Steuereinheit 3 kann auch bevorzugt in mehreren Teilsteuereinheiten ausgeführt sein, die mit einzelnen Bauteilen der Vorrichtung verbunden sein können.

In **Figur 2** ist ein Blockschaltbild für ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Korrektur einer Aberration im Strahlengang eines Auges, auf dem eine Linse aufgebracht ist, dargestellt. Im Prinzip entspricht der Aufbau dem der Figur 1 mit dem Unterschied, daß eine Kontaktlinse 6 direkt auf dem Auge 1 aufgebracht ist und dort in situ die Ablation vorgenommen wird. Hierzu wird der chirurgische Laserstrahl 7 von der Strahlenmodifikationseinrichtung 5, bevorzugt über weitere optische Element wie

Spiegel (nicht dargestellt), auf die Linse 6 gerichtet, die direkt auf dem Auge 1 aufliegt. Die Ablation des Linsenmaterials findet nun in situ auf dem Auge statt, so daß nun durch die Analyseeinrichtung 2 bzw. 2' bevorzugt online parallel zur Ablation der Strahlverlauf im System des Auges 1 und der Linse 6 sowie die Oberfläche dieses Systems - hier also insbesondere der Linse 6 - analysiert werden kann und die Behandlung durch den Strahl 7 direkt überprüft und beurteilt werden kann. Die so hergestellte ideale Linse 6 vermittelt dem Interessenten nun einen Eindruck des kompletten optischen Systems sowie der Operationsbedingungen, ohne daß er sich einer irreversiblen Operation unterzogen hätte.

In **Figur 3** ist ein Blockschaltbild für ein Ausführungsbeispiel einer weiteren erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Korrektur der Aberration im Strahlengang eines Auges ohne Kontaktlinse dargestellt. Hier kann nun durch den chirurgischen Strahl 7 bevorzugt zeitgleich mit der Analyse des Auges 1 durch die Analyseeinrichtung 2, 2' der Fortgang der Operation online beobachtet werden und über die Steuereinrichtung 3 während der Operation Nachberechnungen durchgeführt werden, so daß iterativ eine Behandlung des Auges 1 durch den jeweils auf die aktuellen Gegebenheiten reagierenden und eingesetzten Laserstrahl 7 erfolgen kann. Daneben kann über beispielsweise ein Mikroskop der Fortgang der Operation auch visuell beobachtet werden (nicht dargestellt).

Besonders bevorzugt wird auf der Retina des Auges 1 mit Hilfe einer Lichtquelle der Analyseeinrichtung 2, 2' (Lichtquelle nicht gesondert dargestellt) ein Punkt projiziert. Dabei nutzt man einen nahezu parallelen externen Strahlengang und nutzt die fokussierende Wirkung des optischen Apparates des Auges, um einen möglichst kleinen Punkt erzeugen zu können. Die Intensitäten sind entsprechend der genutzten Wellenlänge und der Bestrahlungsdauer so gering, daß keinerlei Schaden auf der Retina entstehen kann, jedoch genügend reflektierte Intensität vorliegt.

Die reflektierte Welle faßt bei ihrem Durchgang durch das aberrationsbehaftete optische System des Auges alle Abbildungsfehler. Die entsprechende deformierte Wellenfront gelangt in die Wellenfront-Analyseeinrichtung 2 bzw. die Topographie-Analyseeinheit 2', von wo die Aberrationsdaten über eine entsprechende Elektronik bzw. Steuereinheit 3 bevorzugt einem Computer zugeführt werden. Mit Hilfe der Computersoftware wird aus den Aberrationsdaten jeweils ein aktuelles Ablationsprofil berechnet, welches den Excimerlaser 4 mit Spot-Scanning-System ansteuert und eine zielgesteuerte Behandlung über die Strahlenmodifikationseinrichtung 5 realisiert.

15 Eine solche Messung kann auch sporadisch durchgeführt werden, während beispielsweise 80% der Behandlungszeit. Die Analyseeinrichtung 2 bzw. 2' können auf einem separaten Stand angeordnet werden, so daß Laser und Meßgerät abwechselnd einschwenken bzw. bevorzugt ist das Meßgerät im Laser integriert und mißt bei Unterbrechung des Laserbeschusses. Besonders bevorzugt wird eine Neuberechnung der Restbehandlung auf Anforderung des Bedieners durchgeführt. Diese Messung kann besonders bevorzugt auch kontinuierlich oder quasi-kontinuierlich bei Geräteintegration und fortlaufender Neuberechnung der Lasersteuerung durchgeführt werden.

Auf diese Weise ist ein neues und vorteilhaftes Verfahren und eine Vorrichtung zur vollständigen Korrektur von Sehfehlern des menschlichen Auges angegeben worden. Es wurden Kombinationen von Meß- und Bearbeitungsverfahren angegeben, welche in ihrer erfindungsgemäßen Anwendung die vollständige Korrektur des menschlichen Auges ermöglichen. Dabei werden Meßverfahren eingesetzt, welche die Oberfläche der Cornea präzise erfassen können und auch die im weiteren Strahlengang bis zur Netzhaut entstehenden Abbildungsfehler registrieren. Die rechnergestützte Auswertung dieser Meßergebnisse ergibt in Verbindung mit der Berechnung ideal korrigierter Augenlinsen

(beispielsweise nach Katarakt-Operationen) oder ideal korrigierender Corneaoberflächen die Möglichkeit, bevorzugt mit einem Spot-Scanning-Excimerlasersystem topographiegestützt eine patientenspezifische Linse herzustellen und/ oder die
5 Hornhaut ideal korrigierend zu formen.

Insbesondere kann die Korrektur über die Modifikation eines Elements des optischen Systems erfolgen. So reicht es zur Verbesserung des Sehvermögens eines Patienten mit grauem Star
10 und einer Fehlsichtigkeit aus, die intraokulare Linse vollständig zu korrigieren. In einem solchen Fall ist es nicht mehr erforderlich, neben der Katarakt-Operation noch eine refraktive Operation durchzuführen.

Bezugszeichenliste

5	1	Auge
	2	Wellenfrontanalyseeinrichtung
	2'	Topographianalyseeinheit
	3	Steuereinheit
	4	kohärente Lichtquelle
10	5	Strahlenmodifikationseinrichtung
	6	optisches Element/Linse

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Korrektur von insbesondere refraktiven
5 Sehfehlern eines Auges (1), umfassend
eine kohärente Lichtquelle (4),
eine Strahlmodifikationseinrichtung (5) zur Formung und
Ablenkung eines Strahles der kohärenten Lichtquelle (4)
dadurch gekennzeichnet,
10 daß eine Wellenfrontanalyseeinrichtung (2) zur Analyse einer
Wellenfront des Strahlenganges im Auge (1) vorgesehen ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
15 daß zusätzlich eine Topographieanalyseeinheit (2') zur Analyse
der Oberfläche des Auges (1) vorgesehen ist.
3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden auf eine
Vorrichtung bezogenen Ansprüche
20 dadurch gekennzeichnet,
daß weiterhin eine Steuereinheit (3) zur Verarbeitung von
Signalen der Wellenfrontanalyseeinheit (2) und/ oder
zur Verarbeitung von Signalen der Topographieanalyseeinheit
(2'), und/ oder
25 zur Steuerung der kohärenten Lichtquelle (4) und/ oder
zur Steuerung der Strahlmodifikationseinrichtung (5)
vorgesehen ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden auf eine
30 Vorrichtung bezogenen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet,
daß die Strahlmodifikationseinrichtung (5) so ausgebildet
ist, daß mit dem Strahl eine Intraokularlinse und/ oder eine
Augenlinse und/ oder die Cornea des Auges (1) und/ oder eine
35 Kontaktlinse und/ oder eine Implantable Contact Lens und/oder
ein Brillenglas bearbeitbar ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden auf eine Vorrichtung bezogenen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet,
daß die kohärente Lichtquelle (4) ein Laser, insbesondere ein
5 Spot-Scanning-Excimerlasersystem, ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Steuereinheit (3) so ausgebildet ist, daß die Analyse des
10 Strahlenganges im Auge (1) und/oder die Analyse der Oberfläche des Auges (1) quasi zeitgleich mit der Bearbeitung eines optischen Elements durch den Strahl der kohärenten Lichtquelle (4) erfolgen kann.
- 15 7. Verfahren zur Korrektur insbesondere von refraktiven Sehfehlern eines Auges (1), insbesondere unter Einsatz einer Vorrichtung nach den vorhergehenden Ansprüchen,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Strahlengang des Auges mittels Wellenfrontanalyse
20 ermittelt wird; und
daß ein ideales optischen System berechnet wird, das zu einer Korrektur der Sehfehler des Auges (1) führen würde.
8. Verfahren nach Anspruch 7,
25 dadurch gekennzeichnet,
daß zusätzlich die Topographie des Auges (1) analysiert wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Verfahrensansprüche,
30 dadurch gekennzeichnet,
daß das ideale optischen System auf der Basis der aus der Wellenfrontanalyse und/ oder der aus der Topographieanalyse ermittelten Daten bereitgestellt wird.
- 35 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Verfahrensansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß weiterhin Schußpositionen zur Herstellung des idealen optischen Systems mittels der aus der Wellenfrontanalyse und/oder aus der Topographieanalyse ermittelten Daten berechnet werden.

5

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Verfahrensansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß das alte optische System des Auges (1) zu dem berechneten idealen optischen System umgeformt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Verfahrensansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß das optische System die Augenlinse und/ oder eine Intraokularlinse und/ oder die Cornea des Auges und/ oder eine Kontaktlinse und/ oder eine ICL und/oder mindestens ein Brillenglas umfaßt.

13. Ideales optisches System, das nach einem der vorhergehenden Verfahrensansprüche und/ oder mittels einer der Vorrichtungen gemäß den vorhergehenden auf Vorrichtungen bezogenen Ansprüchen hergestellt wurde
dadurch gekennzeichnet,
daß das optische System Elemente aus implantationsgerechten und/ oder adhäsionsgerechten und/ oder ablationsgeeigneten Werkstoffen, insbesondere Kunststoff oder Glas, umfaßt.

14. Ideales optisches System nach einem der vorhergehenden auf optisches System bezogenen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet,
daß das optische System Elemente mit refraktiven und/ oder diffraktiven Strukturen umfaßt.

15. Element zur Verwendung in einem optischen System,
dadurch gekennzeichnet,

daß das Element refraktive und/ oder diffraktive Strukturen aufweist.

16. Verwendung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Verfahrensansprüche und/ oder einer Vorrichtung gemäß
5 einer der vorhergehenden auf Vorrichtungen bezogenen Ansprüchen zur vollständigen Korrektur eines Sehfehlers eines Auges.

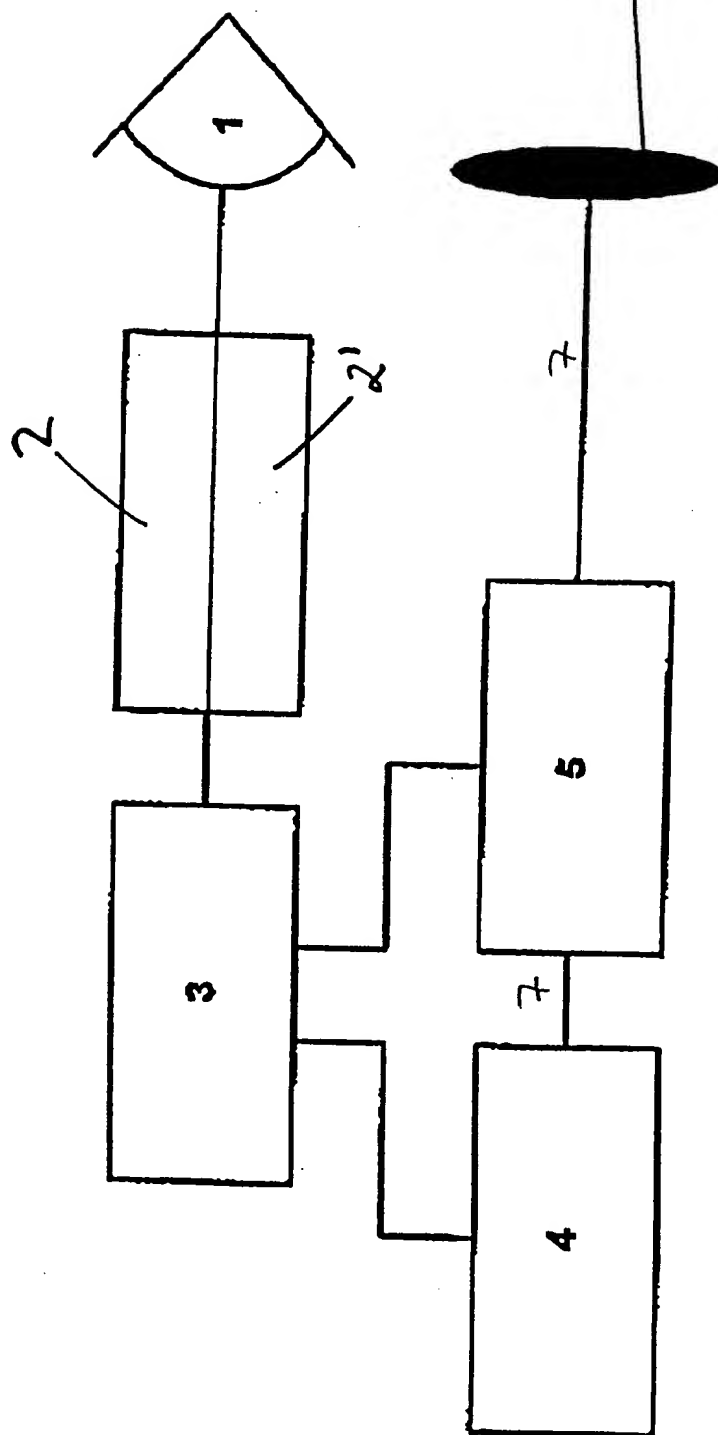


Fig. 1

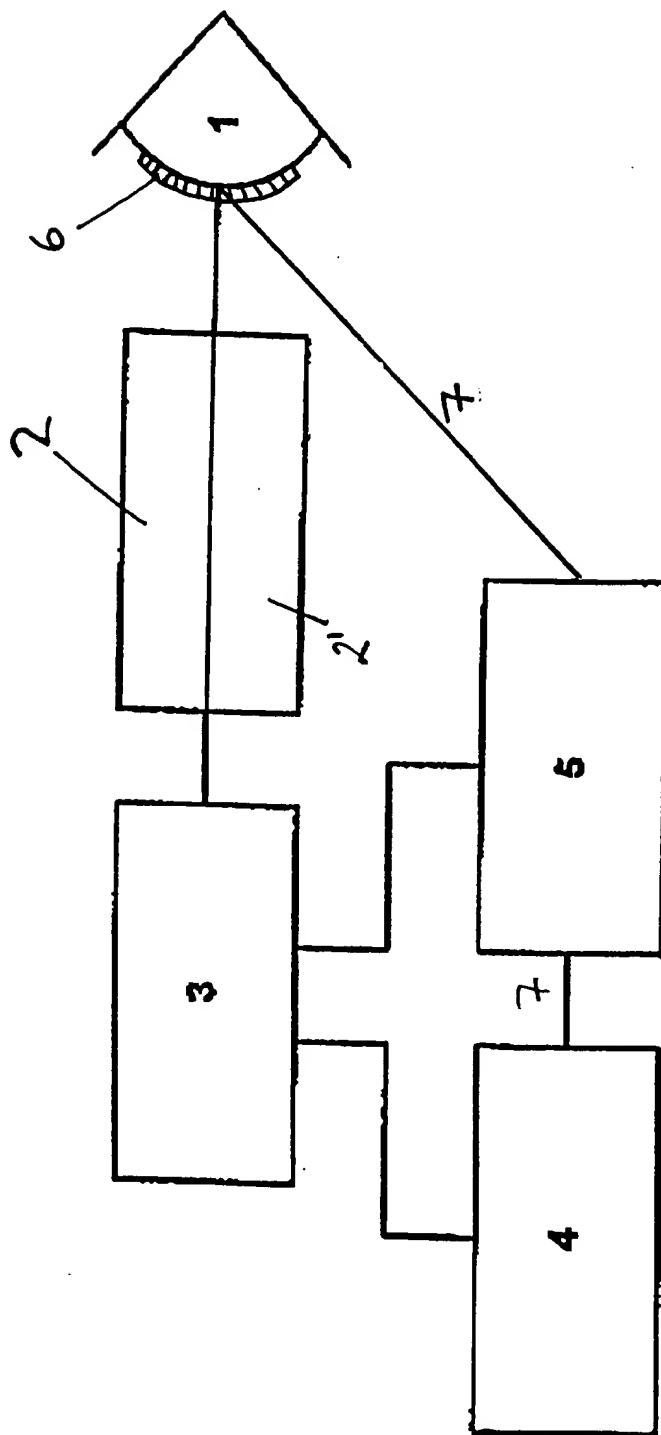


Fig. 2

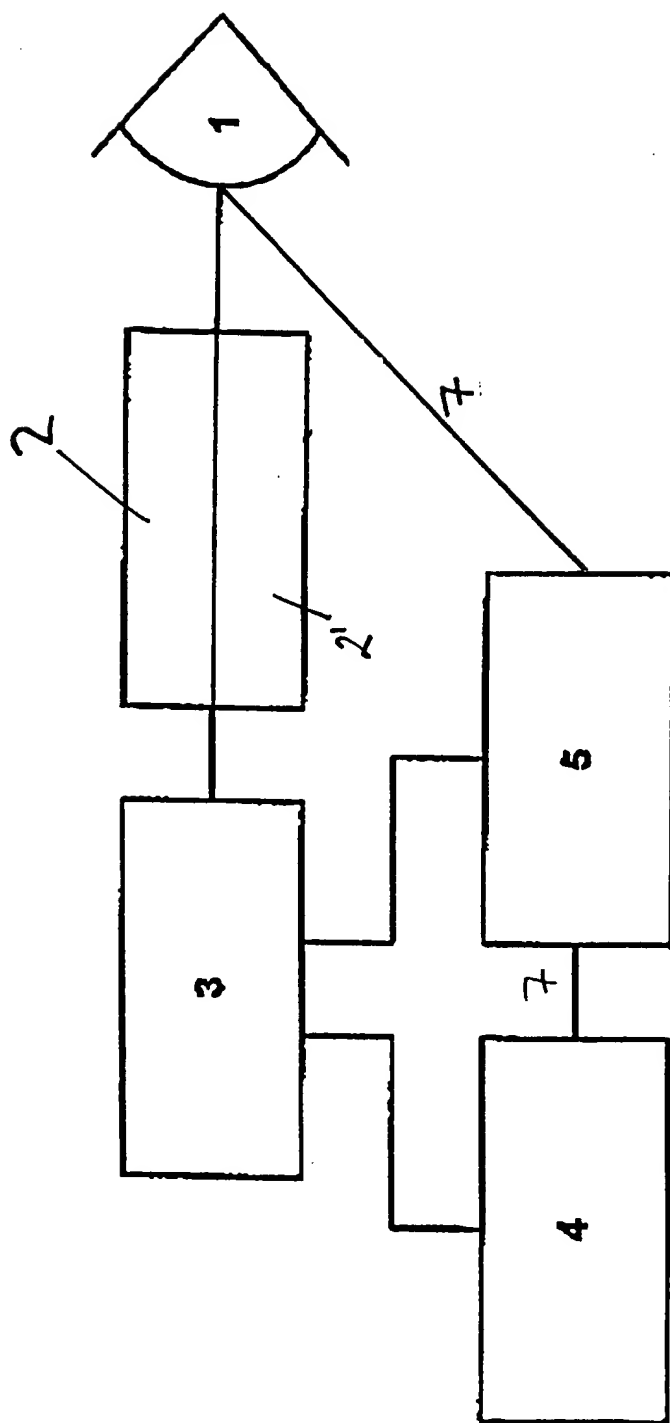


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/07821

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 A61F9/01

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 A61F A61B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 99 27334 A (AUTONOMOUS TECHNOLOGIES CORP) 3 June 1999 (1999-06-03) page 12, line 19 - line 34 page 32, line 5 - line 27	1-16
X	WO 92 01417 A (HORWITZ LARRY S) 6 February 1992 (1992-02-06) page 21, paragraph 29 -page 22, paragraph 6 page 30, line 1 - line 28	1-16
A	US 5 777 719 A (LIANG JUNZHONG ET AL) 7 July 1998 (1998-07-07) column 4, line 12 - line 21 abstract	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 November 2000

Date of mailing of the international search report

05/12/2000

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Mayer, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 00/07821

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9927334	A	03-06-1999	AU 5459398 A EP 1032809 A	15-06-1999 06-09-2000
WO 9201417	A	06-02-1992	NONE	
US 5777719	A	07-07-1998	AU 723645 B AU 5806298 A BR 9714178 A CN 1245406 A EP 0969760 A US 5949521 A WO 9827863 A	31-08-2000 17-07-1998 29-02-2000 23-02-2000 12-01-2000 07-09-1999 02-07-1998

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.